

## Estimación del estado hídrico del viñedo vid a partir del contenido de agua del suelo, condiciones ambientales y desarrollo foliar

M. Baena, L. Rodríguez, M. Tejero y P. Baeza<sup>1</sup>

Departamento de Producción Agraria. Grupo de Investigación en Viticultura de la Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.

[pilar.baeza@upm.es](mailto:pilar.baeza@upm.es)

### Resumen

El potencial hídrico foliar ha demostrado ser un buen indicador del estado hídrico de la planta. Sin embargo, su uso en viñedos comerciales presenta algunas limitaciones prácticas como son el tiempo de medida, el momento, el tamaño de la muestra, la interpretación del resultado en función de las condiciones ambientales y estado de desarrollo de la planta así como la necesidad de personal especializado. Por ello se ha querido desarrollar un modelo que infiera el estado hídrico de la planta – potencial hídrico del tallo - a partir de información que el técnico de viñedo pueda automatizar o tener fácilmente disponible como son: i) las condiciones ambientales, disponibles a partir de la red de estaciones agroclimáticas ii) el desarrollo foliar, medido como porcentaje de suelo sombreado y que para un viñedo concreto responde al tiempo medido como integral térmica y iii) el contenido de agua del suelo cuya información se puede automatizar.

La toma de datos se desarrolló durante las campañas 2015 y 2016, en una parcela del C.T.T.V. El Socorro (IMIDRA) en Colmenar de Oreja (Madrid). La variedad empleada fue Merlot/1103Paulsen con un marco de 2.2 x 1.5 m. El tipo de poda es un cordón bilateral con poda corta y vegetación semilibre con orientación de las filas Norte-Sur+20°. Las plantas se regaron por goteo desde que se paró el crecimiento del pámpano hasta que las lluvias compensaron la demanda del cultivo (ETc). Durante 23 semanas, se midió en 10 puntos fijos de la parcela, distribuidos aleatoriamente, el potencial hídrico del tallo ( $\Psi_s$ ) y el déficit de presión de vapor (DPV) a las 11:15 horas solares, el contenido de agua del suelo ( $\theta_v$ ) y el porcentaje de suelo sombreado (SS) a las 9:30 horas solares. El modelo que se ha estudiado es un modelo lineal  $\Psi_s = f(\text{DPV}, \theta_v, \text{SS})$ . Para hacer el modelo se emplearon 8 puntos y se dejaron 2 sin introducir en el modelo para validarlo.

Los resultados han mostrado que el déficit de presión de vapor y el porcentaje de suelo sombreado son suficientes para explicar el potencial hídrico del tallo ( $R^2 = 0.98^{***}$ ). El contenido de agua en el suelo no fue significativo por lo que no se ha tenido en cuenta en la validación del modelo. El RMSE fue 1.31 y la eficiencia del modelo del 75 %

Palabras clave: potencial hídrico del tallo, contenido de agua del suelo, déficit de presión de vapor, estado hídrico de la planta, modelo de estado hídrico.

## INTRODUCCIÓN

Los modelos que describen la evolución fenológica de los cultivos y su productividad global están bastante extendidos en los cultivos herbáceos. Estos modelos permiten la toma de decisiones a gran escala, principalmente para tomar decisiones sobre qué zonas serían más aptas para establecer estos cultivos, bien elegir aquellas variedades que por su disposición de las hojas se adapten mejor a determinadas zonas climáticas o incluso determinar la época óptima de siembra (Stöckle et al. 2003, Parent and Tardieu 2012, Kumudini et al. 2014). En el caso de la vid, hay diversos modelos en desarrollo (CropSyst, Vite, STICS) y en alguno de ellos se ha llegado a un buen nivel de precisión de la evolución de la fenología, así como el desarrollo foliar, rendimientos (García de Cortázar et al. 2009, Parker et al. 2011, Cola et al. 2014,). Sin embargo, aún hay un largo camino por recorrer (Moriondo et al. 2015). Una de las complejidades que tiene la vid, como planta perenne, es que su respuesta es más compleja que la de las plantas anuales, pues su depende de las condiciones de la campaña anterior, por otro lado, a partir de cierto momento del ciclo, una parte de los productos de la fotosíntesis se van a repartir entre fruto y partes vivaces, siendo las raíces una parte de su destino, cuyo estudio es muy complejo. Además la presencia del portainjerto aumenta la variabilidad de la respuesta varietal. Probablemente, haya que desarrollar un modelo para cada respuesta que queramos evaluar; por ejemplo, emplear un modelo de estimación del rendimiento (de la Fuente et al. 2014), otro para fenología (García de Cortázar et al. 2006, 2009), etc. Uno de las mayores demandas de los viticultores para manejar el riego es conocer el estado hídrico del viñedo de modo rápido, que no implique excesivo consumo de tiempo y mano de obra tal como requiere el potencial hídrico foliar. El estado hídrico de la planta depende de su desarrollo foliar, de la demanda atmosférica (Williams y Baeza 2007) y del contenido de agua del suelo. En condiciones de alta disponibilidad de agua en el suelo, para un valor de déficit de presión de vapor hay un valor máximo de potencial hídrico foliar; claro está que éste a su vez dependerá del desarrollo foliar de la planta. Por ello, en este trabajo se plantea como objetivo el elaborar y validar un modelo que explique el estado hídrico de la planta a partir de la disponibilidad hídrica del suelo, la demanda ambiental y el desarrollo foliar, toda ellos disponible automáticamente y con posibilidad de tener la información actualizada en cada momento. En el caso del desarrollo foliar, al depender de la acumulación de calor (ITe °C) desde brotación, también se puede considerar estimar a partir de los datos de una estación climática automatizada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción de la parcela. El estudio se realizó en una parcela del C.T.T.V. El Socorro, en Colmenar de Oreja (Madrid). La variedad empleada fue Merlot/1103Paulsen. El marco de plantación es 2.2 m x 1.5 m. El viñedo está conducido en un cordón bilateral con poda corta a pulgares de 2 yemas vistas; la vegetación se mantiene semilibre únicamente conducida por un par de alambres a unos 0.3 m sobre el cordón de formación. Las filas están orientadas Norte-Sur +20°. El viñedo se riega con riego por goteo. El mantenimiento del suelo en la calle es con una cubierta natural controlada mediante siegas y en la línea, suelo desnudo mediante herbicidas. El suelo es un xerochrept calcixerolico (USDA Soil Taxonomy); en los primeros 60 cm de suelo el contenido medio de arena, limo y arcilla es de 31.1-1.07-28.13 % respectivamente. El contenido en elemento gruesos es del 15 % y el de materia orgánica del 0.64 %

Toma de datos. Durante 23 semanas, a lo largo de las campañas 2015 y 2016, se midió en 10 plantas distribuidas aleatoriamente en la parcela, el potencial hídrico del tallo ( $\Psi_s$ ) a las 11:15 horas solares. Al mismo tiempo, se tomó el dato de déficit de presión de vapor (DPV) registrado en una estación climática situada en el mismo centro de investigación; los mismos días, y en las mismas plantas en las que se midió el potencial del tallo, se midió el contenido de agua del suelo ( $\theta_v$ ) y el porcentaje de suelo sombreado (SS) a las 9:30 horas solares. Para la medida del contenido volumétrico de agua en el suelo se utilizó una sonda FDR portátil (DIVINER 2000). El aparato de medida está compuesto por una sonda y un datalogger. Esta sonda dispone de un sensor que se desliza manualmente a lo largo de un tubo de acceso, permitiendo la medida de la humedad del suelo cada 0.10 m de profundidad. Los tubos de acceso, tienen una profundidad entre 0.6 y 0.9 m dependiendo de las características del suelo. Para obtener el dato real de % de humedad del suelo se transformaron los datos aplicando la relación de calibración obtenida por Linares (2009) para esta misma parcela.

$$\Theta(\%) = (0.9043 * X) + 0.369 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde  $X$  es la medida dada por la sonda DIVINER 2000 y  $\Theta$ , el % humedad para este suelo concreto.

En un estudio previo se vio que el contenido de humedad del suelo en el perfil 0-60 cm era el que mejor estaba relacionado con el potencial hídrico del tallo (datos no mostrados). Por esta razón, en el modelo se ha tenido en cuenta el contenido medio de agua en los 60 primeros cm del perfil del suelo.

El potencial hídrico del tallo se ha medido con una cámara de presión PMS modelo M 1505D. Para lo cual se seleccionó una hoja adulta, no expuesta a la radiación solar envuelta en papel de aluminio unas 2 horas antes de la medida. El tiempo total desde que se corta la hoja hasta completar la medida, no excede 90 segundos.

El desarrollo foliar se estimó a partir de la medida de la anchura del suelo sombreado a las 9:30 horas solares. Se realizaron 10-15 medidas por planta. El cálculo del % de suelo sombreado se realizó del siguiente modo:

$$L = \frac{10.000 \text{ m}^2}{2.2 \text{ m}} = 4545.45 \text{ m} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde 2.2 m es la anchura de calle y  $L$  son los metros lineales de viñedo por ha. El porcentaje de superficie sombreada (SS %) se obtuvo a partir de la siguiente fórmula:

$$SS(\%) = \frac{h * L}{10.000} 100 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde  $h$  es la media de las 10-15 medidas de la anchura de la sombra realizadas en cada planta quitando los poros de luz que pudiera haber.

Sólo en las primeras fases del cultivo, cuando la porosidad es alta, el suelo sombreado se calculó fotografiando la sombra de la planta sobre una madera de 1.2 x 1.2 m<sup>2</sup>. Con ayuda del programa Adobe photoshop 6.0 se determinó el % de negro (sombra) sobre blanco en la superficie de la tabla, obteniendo así los m<sup>2</sup> de sombra en la tabla; a continuación, se expresa como m<sup>2</sup> de sombra por planta para, finalmente, conociendo el marco de plantación, determinar los m<sup>2</sup> de sombra/m<sup>2</sup> de suelo.

Fundamento del método. Modelo lineal. El objetivo es obtener un modelo lineal que prediga el estado hídrico de la planta. La variable dependiente es el potencial hídrico del tallo ( $\Psi_s$  -MPa) y las variables independientes son el porcentaje de suelo sombreado (SS %), el déficit de presión de vapor (DPV kPa) y el contenido de agua en el suelo ( $\theta$  %). Para realizar el modelo se tuvieron en cuenta 8 puntos de la parcela dejando 2 puntos más aparte, sin introducir, para validar el modelo.

$$\psi_s = f(\Theta_v, SS\%, DPV) \quad \text{Ec. 4}$$

Se realizaron los promedios diarios de las 8 medidas del potencial del tallo, porcentaje de suelo sombreado, contenido volumétrico de agua en el suelo y DPV para cada día, ya que el objetivo es obtener una media estadística de toda la parcela. Estos promedios fueron los utilizados para la obtención del modelo lineal. El tipo de regresión que se ha realizado es una regresión lineal múltiple paso a paso. Para aceptar una variable dentro del modelo se puso como condición que alcanzara un nivel de significación  $P < 0.05$ . Se ha utilizado el programa Statistix10. Se obtuvieron los coeficientes regresión estandarizados o coeficientes beta de cada una de las variables aceptadas por el modelo para conocer el peso relativo de cada una de ellas en el mismo. También se determinó el índice VIF (*Variable Inflation Factor*) que mide el nivel de independencia de las variables explicativas entre sí. A continuación, se validó el modelo con los dos puntos que no habían sido incluidos en el mismo. Se calculó el coeficiente de significación entre el valor medido y el esperado así como la raíz del cuadrado medio del error (RMSE) y el índice de eficiencia (IE).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados previos (Figura 1) llevan a pensar que hay unas relaciones lineales simples entre el potencial del tallo medido a las 11:15 horas solares y el contenido de agua del suelo, el desarrollo foliar o el déficit de presión de vapor a la hora de medida del potencial.

Los resultados obtenidos muestran que el potencial hídrico del tallo puede estimarse a partir del desarrollo foliar (% SS) y de la demanda atmosférica (DPV) mediante la siguiente relación (Ec.5)

$$\psi_s = (-0.24 + 0.100 \cdot SS + 1.289DPV) \quad R^2 = 0.85 *** \quad \text{Ec. 5}$$

El índice VIF obtenido para SS y para DPV has sido en ambos casos 1.3 y los coeficientes estandarizados (beta) obtenidos han sido 0.497 y 0.57 para el SS y DPV respectivamente; es decir que ambas variables contribuyen considerablemente al resultado del potencial hídrico del tallo.

La relación entre los valores medidos y calculados (Figura 2) da una buena relación entre ambos pues el coeficiente de determinación es de  $R^2 = 0.75***$ , es decir que el modelo puede explicar casi el 75 % de la variabilidad observada. El RMSE obtenido fue 1.28 (MPa); aunque es un valor superior a 1 que es lo que algunos autores consideran necesario para validar el modelo (Miranda et al. 2013 y Diago et al 2012) consideramos que depende de qué se esté estimando y cuál sea su interpretación. En este caso, diferencias del potencial del tallo respecto al valor real de +1.28 pueden ser

cualitativamente importantes cuando los potenciales son inferiores a -10 bar, que suele ser a partir del cuajado. En cuanto a la eficiencia se obtuvo un valor  $EF = 0.75$

El hecho de que el contenido de agua del suelo no sea significativo en el modelo puede deberse a que éste era alto y a esos niveles no sea condicionante. El valor medio de contenido de agua del suelo fue 28.4 % oscilando entre 22- 36 % que equivalen a un potencial matricial entre -3.15 bar y -0.23 bar respectivamente; esto supone que el contenido de agua útil fue superior al 50 % (Saxton et al. 1986; Saxton y W.J. Rawls 1996) (Figura 4).

## CONCLUSIONES

1. Hay una relación altamente significativa entre el potencial hídrico del tallo ( $\Psi_s$ ), el déficit de presión de vapor (DPV) y desarrollo foliar (% suelo sombreado) que explica el 98 % de la variabilidad observada.

2. En este modelo resultó no-significativo el contenido volumétrico de agua en el suelo  $\theta$  (%) cuando la tensión matricial del suelo es inferior a -3.15 bar.

3. Hay que mejorar el modelo para valores de  $\Psi_s < -1.1$  MPa pues el RMSE es 1.3 que es alto desde un punto de vista de la fisiología de la planta.

4. La validación del modelo está restringida a las condiciones de este ensayo siendo necesaria la toma de datos y validación en condiciones de cultivo o ambientales diferentes.

**Agradecimientos:** los autores agradecen la ayuda estadística prestada por Ana Tarquis, profesora de matemáticas de la UPM.

## Referencias

- Cola, G., Mariani, L., Salinari, F., Civardi, S., Fabio Bernizzonia, F., Gattia, M. and Poni, S. 2014. Description and testing of a weather-based model for predicting phenology, canopy development and source-sink balance in *Vitis vinifera* L. cv. Barbera. *Agricultural and Forest Meteorology*. 84:117-136.
- Fuente, M.R. Linares, P. Baeza, C. Miranda y J.R. Lissarrague. 2015. Comparison of different methods of grapevine yield prediction in the time window between fruitset and veraison. *J. Int. Sci. Vigne Vin*. 49:27-35.
- García de Cortázar-Atauri I. 2006. Adaptation du modèle STICS à la vigne (*Vitis vinifera* L.). Utilisation dans le cadre d'une étude d'impact du changement climatique à la échelle de la France. Thèse de Doctorat, Ecole Supérieure Nationale d'Agronomie, Montpellier.
- García de Cortázar-Atauri, I., N. Brisson y J.P. Gaudillere. 2009. Performance of several models for predicting budburst date of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Int. Biometeorol* 53:317-326.
- Kumudini, F.H., Andrade, K.J., Boote, G.A. Brown, K.A. Dzotsi, G.O. Edmeades, T. Gocken, M. Goodwin, A.L. Halter, G.L. Hammer, J.L. Hatfield, J.W. Jones, A.R. Kemanian, S.H. Kim, J. Kiniry, J.I. Lizaso, C. Nendel, R.L. Nielsen, B. Parent, C. O. Stöckle, F. Tardieu, P.R. Thomison, D.J. Timlin, T.J. Vyn, D. Wallach, H.S. Yang and M. Tollenaar. 2014. Predicting Maize Phenology: Intercomparison of Functions for Developmental Response to Temperature. *Agronomy Journal* 106(6): 2087-2097.

- Moriondo, M., Ferrise, R., Trombi, G., Brilli, L., Dibari, C. and Bindi, M. 2015. Modelling olive trees and grapevines in a changing climate. *Environmental Modelling & Software* 72: 387-401.
- Parent, B. and Tardieu, F. 2012. Temperature responses of developmental processes have not been affected by breeding in different ecological areas for 17 crop species. *New Phytologist* 194: 760-774.
- Parker, A.K., de Cortazar-Atauri, I.G., van Leeuwen, C. and Chuine, I. 2011. General phenological model to characterise the timing of flowering and veraison of *Vitis vinifera* L. *Aust. J. Grape Wine R.* 17(2):206-216.
- Stöckle, C.O., Donatelli, M. and Nelson, R. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *Eur. J. Agron.* 18:289-307.
- Williams, L.E. and P. Baeza. 2007. Relationships among ambient temperature and vapour pressure deficit and leaf and stem water potentials under fully irrigated field-grown grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture. American Society for Enology and Viticulture* 58-2:173-181.

## Figuras

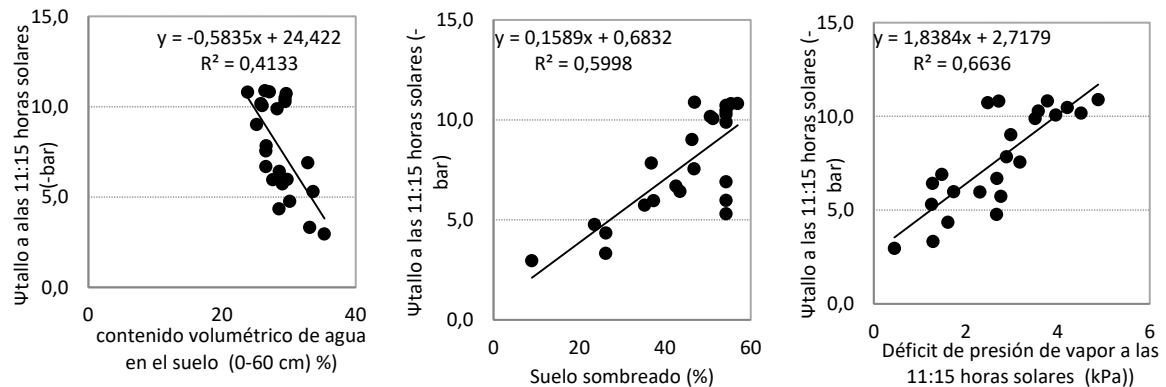


Fig 1. Relaciones simples entre el potencial hídrico del tallo a las 11:15 horas solares, y el contenido de agua del suelo (izquierda), el desarrollo foliar medido como porcentaje de suelo sombreado (centro) y las condiciones ambientales expresadas a través el déficit de presión de vapor (derecha).

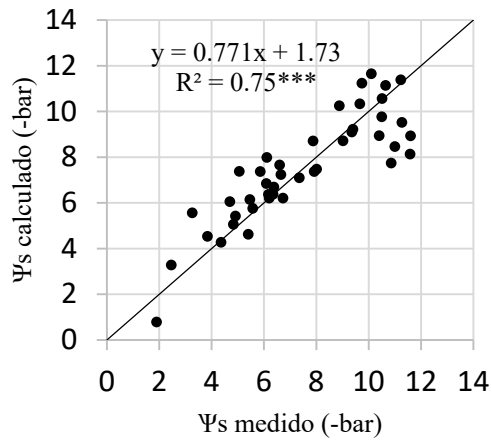


Fig. 2. Relación entre los valores de potencial medidos y calculados de acuerdo al modelo obtenido.

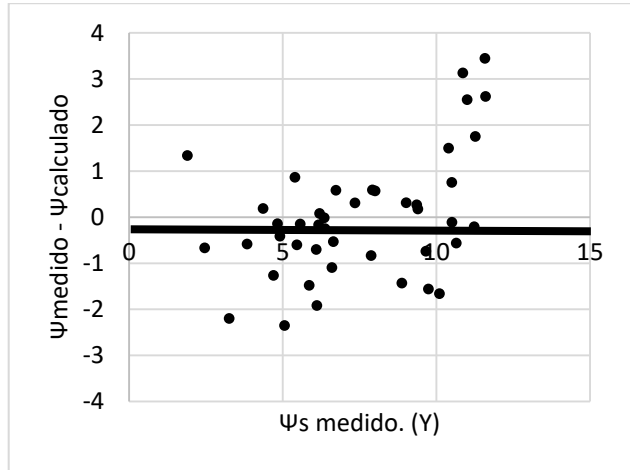


Fig. 3. Diferencias entre los valores medidos y calculados frente a observados (eje OX). La línea gruesa indica el valor medio de las diferencias.

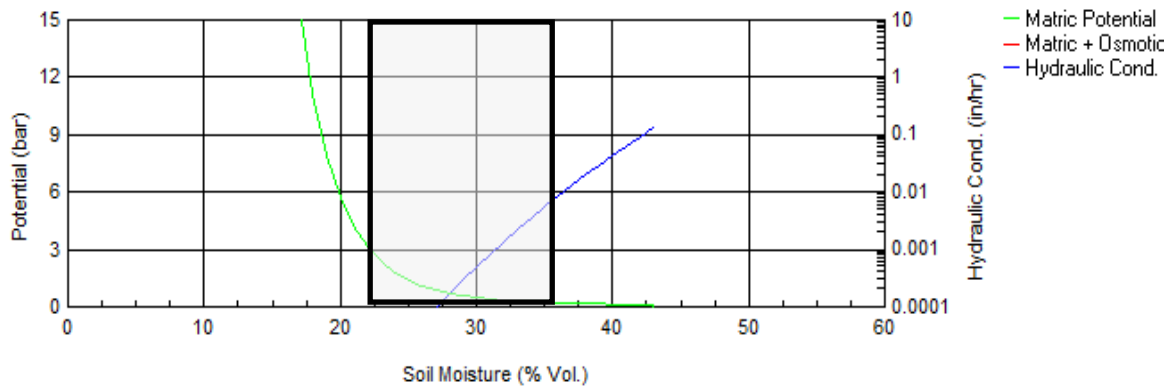


Fig. 4. Relación entre el potencial matricial, humedad del suelo y conductividad hidráulica para el suelo estudiado.